

SEDAH: Servidor de datos para el estudio de la alteración hidrológica

ROBERTO MARTÍNEZ ROMERO (*), FERNANDO MAGDALENO MAS (**), JULIÁN ORTIZ RODRÍGUEZ (***),
JOSÉ ANASTASIO FERNÁNDEZ YUSTE (****) y CAROLINA MARTÍNEZ SANTA-MARÍA (*****)

RESUMEN Durante los años 2008, 2009 y 2010 se han llevado a cabo, a nivel estatal, diversas actuaciones encaminadas a evaluar la alteración ec hidrológica de las masas de agua. Esta evaluación se llevó a cabo con la metodología y aplicación IAHRIS.

Durante el desarrollo de estos trabajos se constató la necesidad de crear una herramienta que permitiera una mejor adecuación de los valores de la Red Oficial de Estaciones de Aforo (ROEA) a las diferentes herramientas que permiten valorar la alteración hidrológica de los regímenes hidrológicos, con especial atención a su aplicación a través del modelo IAHRIS.

La aplicación web creada, denominada SEDAH (Servidor de Datos para Estudio de la Alteración Hidrológica), ayuda a solventar esta tarea, por un lado agilizando el trámite de selección de estaciones de aforo, fechas, tipo de serie de aforo, valoración preliminar de la calidad de los datos, clasificación referencia-alterado de los caudales, exportación de datos, y por otro proporcionando información completada tanto para datos mensuales y diarios, disponiendo de esta manera de un mayor volumen de datos en los formatos nativos de IAHRIS e IHA.

De este modo, se dispone de una aplicación de fácil acceso por el usuario y con gran valor para la realización de estudios de alteración hidrológica, propuestas de régimen de caudal ambiental y proyectos de restauración fluvial; además constituye una aplicación base para la incorporación de nuevas funcionalidades de mayor alcance ligadas a la obtención de datos en régimen natural o de referencia.

SEDAH: DATA SERVER FOR HYDROLOGIC ALTERATION EVALUATION

ABSTRACT Several tasks and studies have been developed from 2008 till 2010 all around the country in order to evaluate the hydrologic alteration of water bodies. In most cases this alteration has been evaluated through IAHRIS (Martínez & Fernández, 2006). The necessity of creating a new tool that allowed a better performance of the National Flow-Stage Stations Network data was showed up by developing these works. The output data series should match IAHRIS and IHA.

SEDAH (Data Server for Evaluating Hydrologic Alteration) helps to solve some of these problems by supplying an easy way to select flow stations, dates, flow series typology, etc. Moreover, other useful utilities are: a preliminary appraisal of quality data, classification of altered or reference flow series and exportation of data in different file formats. The web application works with different data bases, daily, monthly and annual series belonging to, either actual series from flow station data or completed series by statistical procedures.

Through SEDAH the user has easy access to all this huge information ready for being applied in hydrologic alteration assessment, environmental flows regime, river restoration projects, etc.

Furthermore, this first phase of the application constitute the basis for future powerful functionalities related to the natural flow series obtaining.

Palabras clave: Alteración hidrológica, Sedah, lahris, Aforos, Caudales Ambientales.

Keywords: Hydrologic Alteration, Sedah, lahris, Discharge, Environmental Flow.

(*) Ingeniero de Montes. Contratado I+D. CEDEX, Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. Email: roberto.martinez@cedex.es

(**) Doctor Ingeniero de Montes. Consejero Técnico. CEDEX, Centro de Estudios de Técnicas Aplicadas. Email: fernando.magdaleno@cedex.es

(***) Ingeniero de Caminos. Director Comercial. INDEGIS, Ingeniería y Desarrollo. Email: julianortiz@indegis.es

(****) Doctor Ingeniero de Montes. Catedrático de Hidráulica e Hidrología. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Email: tasio.fyuste@upm.es

(*****) Doctora Ingeniera de Montes. Profesora Titular de la Unidad Docente Hidráulica e Hidrología. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Forestal, Universidad Politécnica de Madrid. Email: carolina.martinez@upm.es

1. INTRODUCCIÓN

A nivel institucional, en el contexto del presente trabajo, se han llevado a cabo en los años 2009 y 2010, diversas actuaciones relacionadas con la evaluación de la alteración ecohidrológica de las masas de agua españolas. Esta evaluación se ha realizado a través de Índices de Alteración Hidrológica en Ríos, IAHRIS (Martínez y Fernández, 2006), que ha permitido al Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (MARM) y a las diferentes Confederaciones Hidrográficas la estimación del grado de alteración de las masas y el establecimiento de los objetivos que en cada una de ellas tenía que cumplir el régimen de caudales ecológicos asociado.

IAHRIS, Índices de Alteración Hidrológica en Ríos, es una aplicación informática de distribución libre, que permite obtener:

- Parámetros con los que caracterizar el régimen hidrológico de un río.
- Índices que valoran el grado de alteración del régimen hidrológico.
- Criterios para asignar la condición de masa de agua muy alterada (Directiva Marco del Agua. Instrucción de Planificación Hidrológica).
- Escenarios de regímenes ambientales de caudales que el usuario puede generar a partir de los patrones del régimen natural.

Esta información es obtenida a partir de las series de caudales diarios o aportaciones mensuales de, al menos, quince años.

En la línea de los trabajos citados con anterioridad, resulta necesario con objeto de facilitar la funcionalidad de la aplicación citada, proponer una aplicación que permita facilitar el manejo de datos y la incorporación de nuevos datos en la aplicación IAHRIS una vez vistas las necesidades de los organismos que han aplicado esta herramienta. En particular, herramientas de selección que permitan una utilización óptima de las series de aforos que son la base de los métodos de estimación de caudales ecológicos.

Este trabajo conlleva la adaptación de los datos de la base de datos de aforos del CEDEX y la incorporación de metodologías simples de completado de datos y herramientas para la selección de datos según los criterios de los usuarios. Debido a la carga de trabajo preliminar que debe abordar el usuario antes de comenzar a trabajar con IAHRIS, se propone la creación una aplicación web con diferentes funcionalidades orientadas a la obtención, tratamiento y procesado previo de datos para su posterior estudio en IAHRIS. La herramienta creada se denomina SEDA (Servidor de Datos para el Estudio de la Alteración Hidrológica).

La herramienta propuesta pretende facilitar diferentes labores, previas y necesarias, para la mayoría de los estudios relacionados con la valoración de la alteración del régimen hídrico que proporciona IAHRIS:

- Localización de las estaciones de aforo y series de datos.
- Valoración preliminar de la calidad de las series de aforo para nuestro estudio.
- Clasificación de series naturales y alteradas.
- Empleo de series completadas a 15 años.
- Generación de los ficheros legibles por IAHRIS.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

El conjunto de trabajos descritos en este artículo se desarrolla a partir del anuario de aforos digital 2007-2008 (MARM, 2010) gestionado por el Centro de Estudios Hidrográficos del CEDEX.

En el tratamiento de los datos se han empleado diferentes herramientas informáticas:

- MO Access 07: empleado en la gestión, tratamiento y creación de las diferentes bases de datos.
- Excel 07: empleado en diferentes cálculos intermedios.
- CHAC (Cálculo Hidrometeorológico de Aportaciones y Crecidas): modelo desarrollado por el CEDEX y que ha sido empleado en el completado de los datos mensuales.
- SPSS: paquete estadístico empleado en el completado de los datos diarios y en la generación de conglomerados de datos mensuales.

Los datos han sido montados en un servidor de acceso público, en el que la gestión y tratamiento de datos están disponibles al usuario mediante una aplicación web programada en “php”. La aplicación y los datos se encuentran disponibles en el servidor: <http://ambiental.cedex.es> y bajo los dominios sedah.org, sedah.es y sedah.eu.

2.1. ESQUEMA CONCEPTUAL

El esquema conceptual de la aplicación es el que se muestra en la Figura 1; como puede verse, se compone de dos bloques, por un lado las bases de datos que aportan información al sistema y por otro, los elementos que permiten localizar, caracterizar, comparar, seleccionar y exportar los datos solicitados por el usuario.

Respecto a las bases de datos están constituidas por la propia información del anuario de aforos 2007-2008 y por otras dos bases de datos que han sido completadas: una de datos mensuales completada con CHAC y otra de datos diarios completada por interpolación lineal. La aplicación queda abierta a la incorporación de series de valores del modelo SIMPA, Sistema Integrado de Modelización Precipitación Aportación (Estrela, T. y Quintas, L.A. 1996; y Ruiz García, J. M. 1998) y en futuras fases de desarrollo.

El resto de funcionalidades de la aplicación se ocupa de gestionar la información anterior, visualizarla, compararla, seleccionarla y extraerla en diferentes formatos.

2.2. ANÁLISIS PREVIO DE DATOS

En el año hidrológico 2007-2008 la red ROEA llega a 1.784 estaciones de medida, de las cuales 1.165 se encuentran en servicio. Las estaciones de aforo en río son un total de 1.155 (de las cuales 661 están en servicio) y de embalses, 349 (de los cuales 326 proporcionan medidas). Tabla 1.

El estudio previo del anuario de aforos y el análisis de sus datos proporcionan una visión global del tipo de datos de los que se carecen, tanto diarios como mensuales.

A continuación se muestran los principales datos extraídos del análisis de datos diarios y mensuales.

a. Series diarias de caudales

Haciendo un pequeño análisis de la información del anuario, pueden resumirse los casi 13 millones de re-

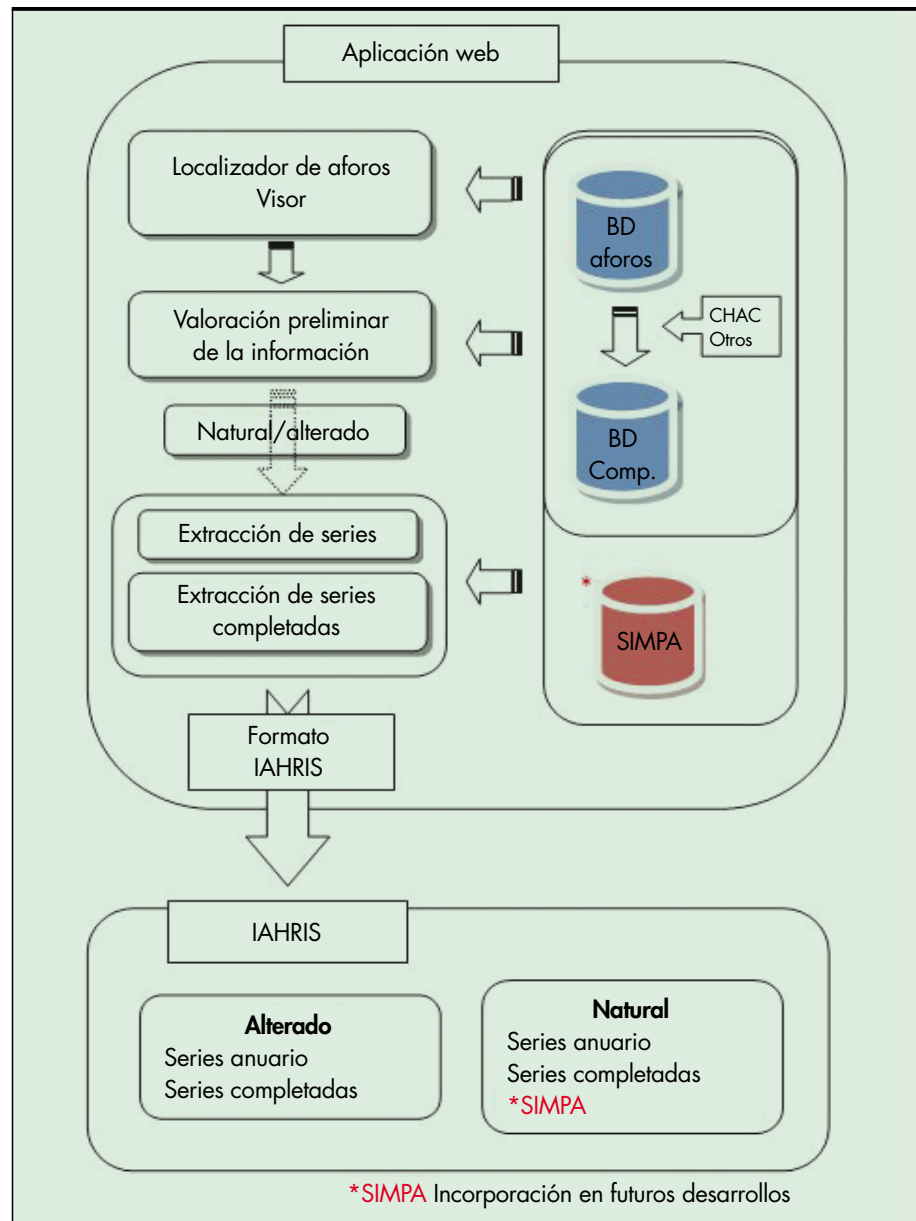


FIGURA 1. Esquema conceptual de la aplicación web.

Confederación Hidrográfica	Estaciones de aforo en río		Estaciones de aforo en embalse	
	Nº total	Nº en servicio	Nº total	Nº en servicio
Miño-Sil	56	27	35	34
Cantábrico	65	36	15	13
Duero	158	116	29	29
Tago	184	91	57	57
Guadiana	93	39	29	29
Guadalquivir	128	67	59	58
Segura	76	33	19	18
Júcar	112	46	32	27
Ebro	283	206	74	61
Total	1.155	661	349	326

TABLA 1. Estaciones de aforo por Confederación Hidrográfica.
Origen: Datos de la memoria del anuario de aforos 2007-2008. (MARM, 2010).

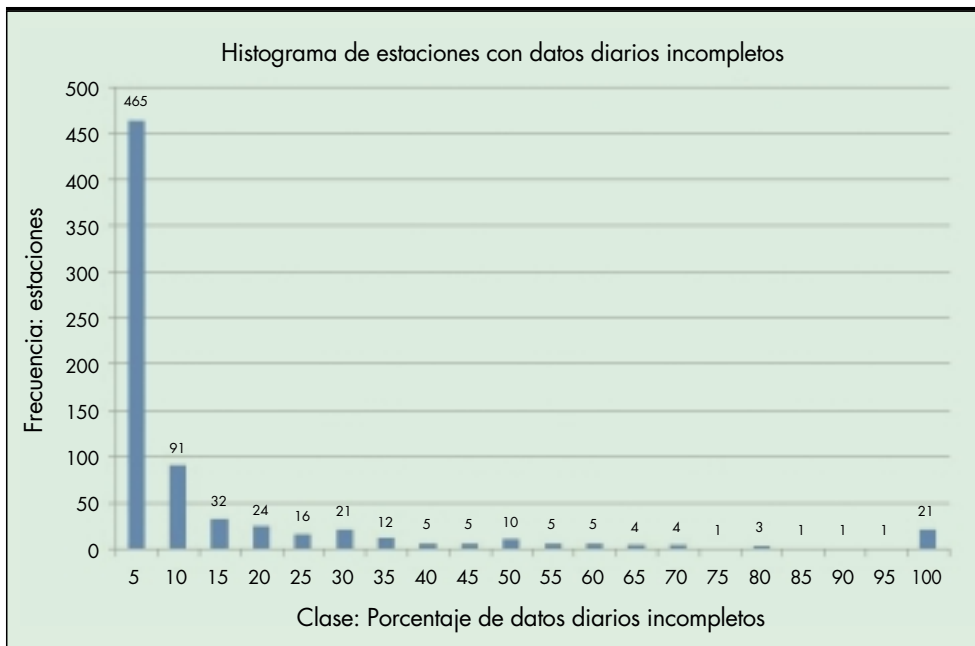


FIGURA 2. Porcentaje de datos diarios incompletos en las 727 estaciones del anuario con ausencia de algún dato diario.

gistros diarios que presenta el anuario para todas las estaciones de aforos, a través de una gráfica (Figura 2).

La Figura 2 está elaborada a partir de las estaciones a las que les falta al menos un dato diario: 727 estaciones (el total de estaciones son 1.123). Por lo que hay $1.123 - 727 = 396$ estaciones con todos los datos diarios completos a lo largo de su correspondiente serie.

Como puede observarse las estaciones en su mayoría, 465 (63,9%) no superan el 5% de días incompletos en toda la serie.

Según este análisis, se deduce que completando un pequeño volumen de datos se consigue un gran volumen de años completos repartidos en las diferentes estaciones. Por lo tanto, las estaciones, en relación a los datos diarios, que pueden ser completadas se resumen en: **1.123** estaciones totales; **727** (65%) estaciones con al

menos un hueco; **465** (64%) de estaciones con menos de 5% de huecos en el total de la serie.

b. Series mensuales de caudales

Para la selección de las estaciones completadas con CHAC se ha realizado un estudio previo de los datos con los que se cuenta para acotar el volumen de estaciones que serán completadas.

El primer elemento de interés para acotar las estaciones, es el número mínimo de años completos que debe presentar la estación. IAHRIS necesita al menos 15 años completos con datos en régimen de referencia o 15 años en régimen alterado. En la Figura 3 puede verse el número de estaciones susceptibles de ser completadas en función del mínimo de años completos que se considere.

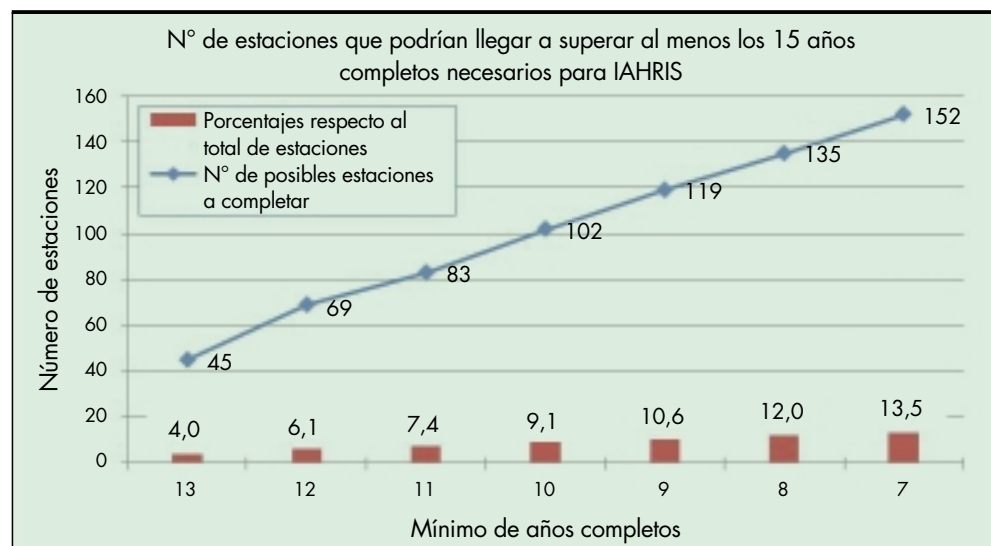


FIGURA 3. Número de estaciones potencialmente tratadas con IAHRIS en función del mínimo de años completos con datos mensuales.

	Estaciones	
	... y menos de 15 años	... y menos de 30 años
Mínimo 12 años completos	69	340
Mínimo 11 años completos	83	354
Mínimo 10 años completos	102	373

TABLA 2. Estaciones afectadas según la horquilla de años estudiada.

Tras observar la información de la Figura 3 parece razonable moverse en la horquilla de 10 a 12 años completos como mínimo. Un mínimo de 12 años garantiza que pudieran incorporarse más de un 5% de estaciones a IAHRIS y menos de 10 años de datos completos puede resultar insuficiente desde el punto de vista estadístico.

De todas las estaciones disponibles no se han seleccionado para el completado las estaciones que dispongan de más de 30 años completos por considerarse que tienen suficiente consistencia para el estudio de la alteración hidrológica y suponen un gran esfuerzo de análisis considerarlas en el proceso de completado.

Bajo estos criterios entran en juego las estaciones que se muestran en la Tabla 2 en función del mínimo y máximo número de años completados que se consideren.

Las estaciones marcadas como "...y menos de 15 años" completarían años hasta poder completar los 15 años necesarios para IAHRIS, y las marcadas "...y menos de 30 años", completarían años complementando los que ya tienen.

A fin de tener una visión aproximada de la calidad de los datos, se ha realizado el histograma de frecuencias de los seis grupos de estaciones (Figura 4). Donde puede observarse que el reparto de los porcentajes de los meses sin completar es similar en los diferentes grupos. Ninguna de las estaciones carece de más del 50% de los datos. Del orden del 15% de las estaciones pre-

sentan entre 0% y 10% de meses incompletos. La mayor parte de las estaciones (más del 50%) presentan entre 10% y 20% de los meses incompletos.

2.3. COMPLETADO DE SERIES

a Completado de series diarias

Para esta parte del estudio hay que considerar que la finalidad del completado de datos diarios es poner a disposición del usuario de IAHRIS, un mayor número de años de los que puede obtener del anuario de aforos. Hasta ahora la falta de un único día en un año hacia que se perdiera toda la información de los 364-365 días restantes, debido a que IAHRIS precisa que todos los datos de la serie tengan valor. Por esta razón, se plantea el completado bajo criterios muy simplificados. No se entra a considerar la posible pérdida de valores extremos que pudieran haberse perdido en la serie. En fases posteriores se desarrollará un estudio más completo que considere las pérdidas de valores en casos más complejos.

Siguiendo los razonamientos considerados hasta ahora, se han completado los huecos de todas las estaciones cuyas series de caudales diarios medios carezcan de un máximo del 10% de datos, es decir, el equivalente a la ausencia de 36 valores de caudales diarios en un año.

De los años de las estaciones anteriores, es decir, los años que presentan un máximo de 36 de días sin dato, se ha analizado la distribución de estos huecos dentro de un mes; de tal modo que las series anuales que se proponen para el completado cumplan los siguientes requisitos:

1. No han de presentarse más de 6 huecos (20%) en un mismo mes. De este modo se evita que se concentren los huecos en un corto espacio de tiempo, haciendo que el rellenado por interpolación lineal sea poco fiable.
2. Se han identificado los grupos de huecos consecutivos dentro de cada año en todas las estaciones de aforo a fin de localizar los huecos consecutivos mayores o iguales a cinco. Las series que se han comple-

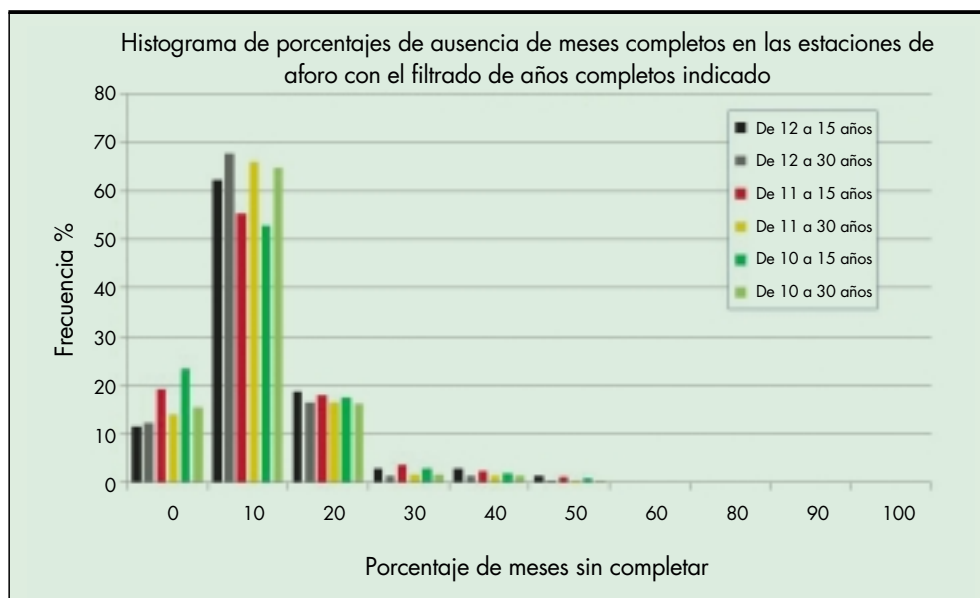


FIGURA 4. Histogramas de frecuencias de la calidad de las series a completar para cada grupo de datos anuales (datos mensuales).

tado en esta primera fase corresponde a huecos consecutivos menores o iguales que cinco. Este criterio evita que se completen huecos consecutivos amplios, que podrían ser eventos extremos (avenidas o sequías) no recogidos en la serie, y que la interpolación lineal no puede reconocer.

El proceso de completado de datos se ha realizado mediante la herramienta SPSS-19, a través del módulo: *Transformar-Remplazar valores perdidos*.

Este módulo ofrece diversos procedimientos para completar los huecos:

- Media total.
- Media de valores adyacentes.
- Mediana de valores adyacentes.
- Interpolación.
- Tendencia lineal.

Finalmente el método elegido ha sido la interpolación lineal automatizada para todos los años de las series que cumplieran los requisitos considerados anteriormente. Con el conjunto de datos generados se ha creado una nueva tabla en la base de datos.

b. Completado de series mensuales

De igual modo que en el caso de datos diarios, el objetivo fundamental es proporcionar mayor volumen de datos a las series de modo que se recuperen años completos a los que les faltaban valores y que así puedan ser empleados por IAHRIS.

La metodología seguida para el caso de los datos mensuales es la que se enumera a continuación. En un primer momento se ha diferenciado en Demarcaciones Hidrográficas para valorar la calidad y alcance del estudio de manera regional. La herramienta empleada para proceder a completar los datos ha sido CHAC desarrollada por el CEDEX.

Las diferentes tareas desempeñadas han sido:

1. Selección de las estaciones con más de 10 años completos y menos de 30 años completos.
2. Agrupación de las series de las estaciones de aforo por Demarcación Hidrográfica, de tal modo que se ha creado un fichero Excel con estructura de formato LEMA (formato CHAC) con toda la información de las aportaciones mensuales de toda la serie de los años disponibles para cada una de las estaciones.
3. Integración en formato LEMA dentro de CHAC.
4. Antes del completado de los datos se agrupan las estaciones homogéneas, tanto por cercanía geográfica como analizando variables características de las series (medias, CV, coeficiente de sesgo) y se realiza una valoración aproximada por el método de las dobles acumulaciones.
5. Se procede a un completado general por demarcación hidrográfica para ver el potencial de completado que presenta cada una de las demarcaciones por el método de regresión bivariada (correlación múltiple). En este método se crea una ecuación de regresión para cada par de estaciones que pueden correlacionarse con la estación a completar. Para elegir la ecuación que da el dato más satisfactorio, se genera una matriz de priorización. Esta matriz de priorización es función de los coeficientes de correlación múltiple y del número de datos comunes entre las estaciones, a

estos datos comunes se les puede dar mayor o menor peso en CHAC por medio del exponente de priorización. Para completar un determinado mes se tomarán el par de estaciones con el coeficiente de priorización más alto y que a su vez contenga el mes que se quiere completar, por lo que de manera sucesiva se irá disminuyendo el valor del coeficiente de priorización hasta llegar al par de estaciones que contengan dicho mes. Este descenso en el coeficiente de priorización es controlable desde CHAC y es conocido como umbral de priorización, es el valor del coeficiente de priorización del que no se debe bajar para no acumular errores en los datos que se completan, ya que a menor coeficiente de priorización, menor es el coeficiente de correlación múltiple de las tres estaciones, pero mayor el número de datos completados.

6. Las series se han completado con dos umbrales de priorización: 0.7 y 0.8 y un único exponente de priorización: 0.1.
7. Los resultados obtenidos completan valores a partir de los datos incorporados a CHAC, que en este punto del estudio no ha distinguido entre valores alterados y de referencia o naturales.
8. Clasificación de las estaciones de aforo en las siguiente tipologías:
 - a. Tipo-1: Estaciones que ayudan a completar datos con años completos entre 10 y 30.
 - b. Tipo-2: Estaciones que ayudan a completar datos con más de 30 años completos.
 - c. Tipo-3: Estaciones que se completarán.
 - d. Tipo-4: Estaciones que no forman parte del completado.
 - e. Tipo-5: Estaciones que ayudan a completar datos en fases posteriores, una vez observado que se pierden estaciones en el proceso de búsqueda del año de alteración (ver siguientes puntos).
9. El interés del completado de datos recae especialmente en la parte natural o de referencia de los datos, siendo además necesario que los datos sean completados entre datos de la misma naturaleza, es decir, datos naturales ayudan a completar datos naturales. De este modo, se ha procedido a considerar exclusivamente la parte no alterada de la series considerando la ubicación de los embalses y su años de construcción.
10. Búsqueda del año de alteración de las estaciones de tipo-1, 2 y 3.
11. Para cada estación se ha localizado mediante cartografía el embalse o embalses de más de 5 hm³ que la afecta. De todos los embalses que pudieran afectar una estación, se ha seleccionado el que su año de construcción sea el más antiguo. Esta fecha es la que se propone como fecha de alteración. La propuesta de mejora del método de obtención del año de alteración será mejorada notablemente en fases posteriores de este proyecto.
12. Reevaluación de las estaciones que están o no alteradas con la siguiente codificación:
 - a. 0, no están alteradas.
 - b. 1, tiene parte alterada y parte natural.
 - c. 2, están totalmente alteradas.
 - d. 3, no han sido evaluadas.

13. Tras esta fase es necesario completar nuevas estaciones debido a las que se han perdido al estar totalmente alteradas. Serán las estaciones tipificadas como Tipo-5.
14. El total de estaciones Tipo-1, 2, 3 y 5 se clasifican por los estadísticos: Media, coeficiente de variación y coeficiente de sesgo, que proporciona CHAC. El conjunto de estas estaciones (sin diferenciar demarcaciones) se procesan por medio del software SPSS para obtener conglomerados en función de las variables citadas.
15. Los diferentes conglomerados de estaciones se procesan con CHAC tras una revisión de dobles acumulaciones en la que se eliminan las estaciones menos homogéneas dentro del grupo.
16. Los resultados obtenidos se incluyen en la base de datos de mensuales completados.

Se ha de considerar que IAHRIS necesita al menos 15 años completos para poder tener en cuenta la información de una estación.

En las Figuras 5 a 13 pueden verse los histogramas por demarcación de las estaciones que al menos tienen 10 años completos de datos mensuales y no más de 30.

3. RESULTADOS

Todo el procesado de datos conduce a la generación de dos tipologías de resultados, por un lado las bases de datos de caudales o aportaciones de las series completadas y por otro las bases de datos que caracterizan las series, ya sean completados o datos reales del anuario.

El conjunto de toda esta información es explotada mediante las diferentes funcionalidades de la aplicación web diseñada en este proyecto.

FIGURA 5. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Tajo.

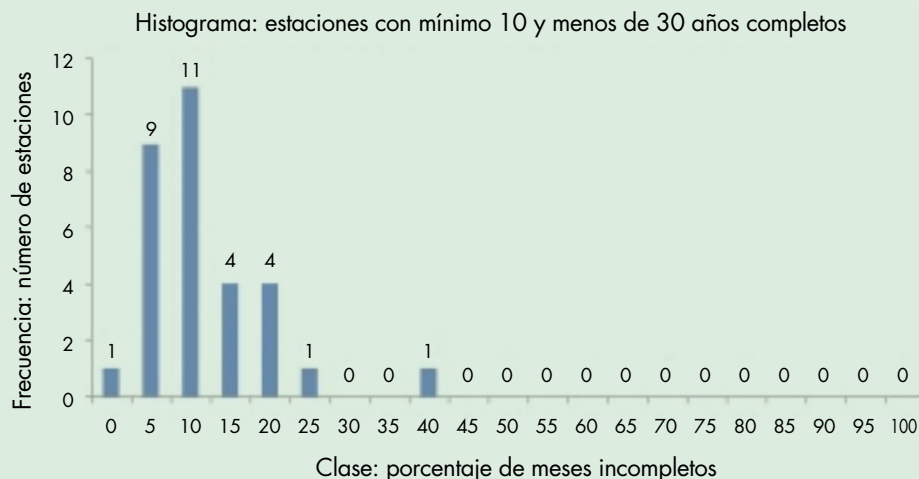
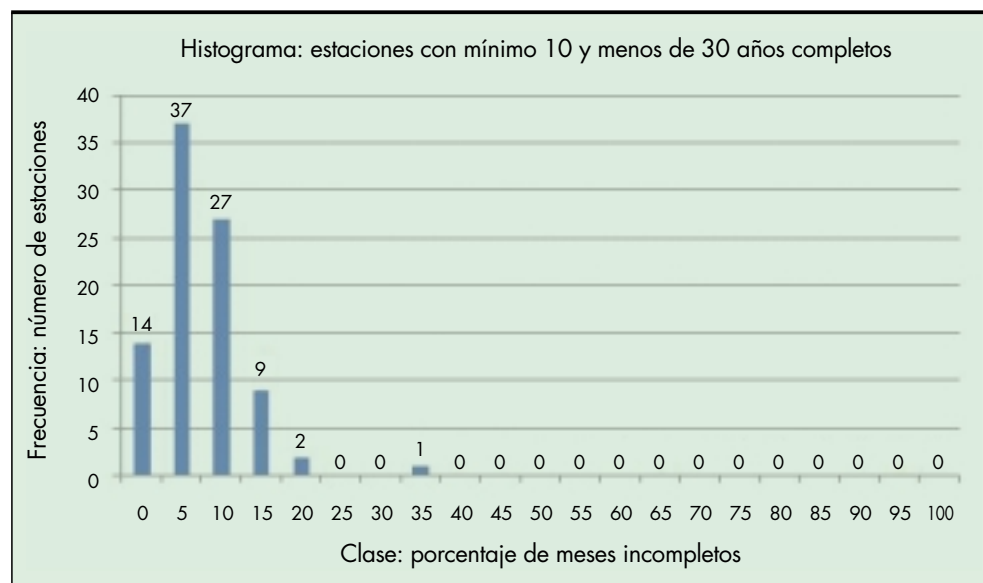


FIGURA 6. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Guadiana.

FIGURA 7. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Guadalquivir.

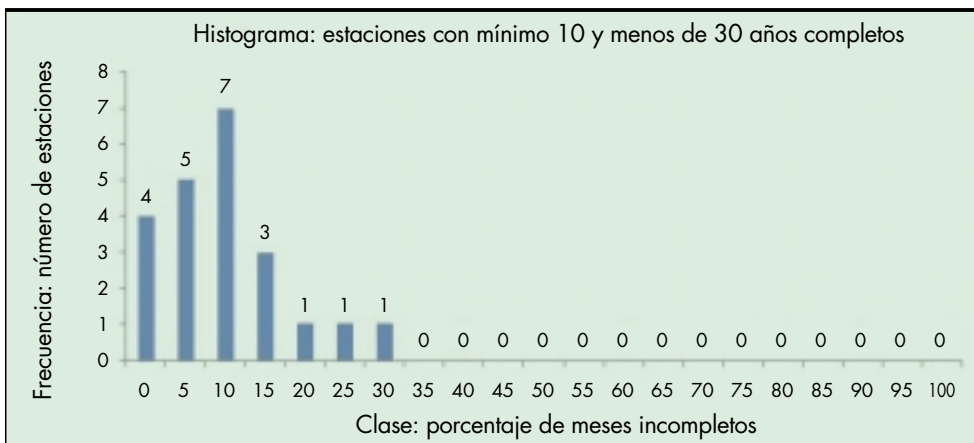
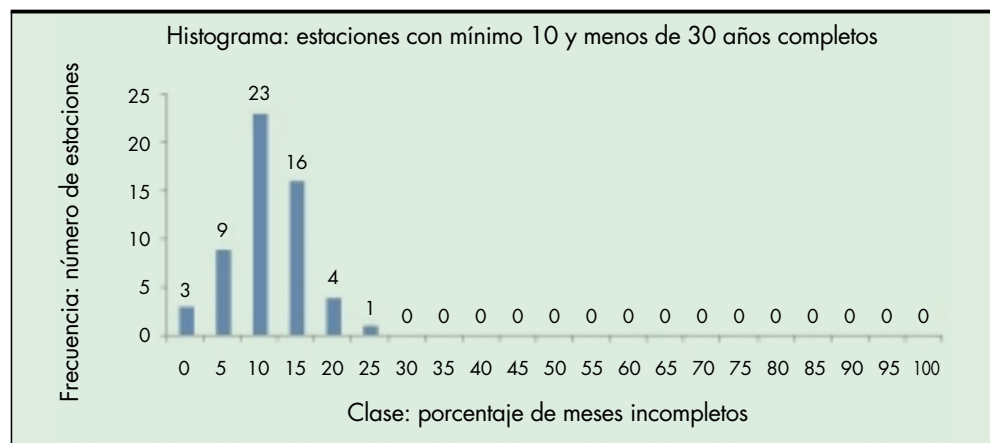
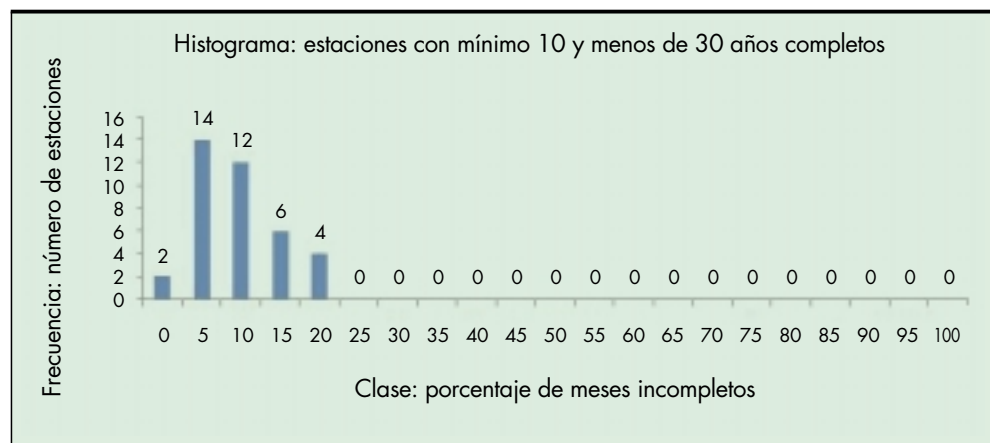


FIGURA 8. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Segura.

FIGURA 9. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Júcar.



3.1. DATOS DE CAUDALES Y APORTACIONES

Los resultados pueden dividirse en datos diarios, en este caso los valores se dan en caudales (m^3/s); y en datos mensuales, para los que las unidades son aportaciones (hm^3).

a. Datos finales diarios

Se ha creado una base de datos que está compuesta tanto por los datos originales del anuario como por la

tabla final de datos completados. Estas tablas son las empleadas por la aplicación web para realizar las tareas solicitadas. También se encuentra disponible la información de las series de aforos en embalses, pero únicamente los datos del anuario ya que sobre esta información no se ha realizado procesamiento alguno.

En un primer momento la tabla de valores completados ha filtrado de la tabla del anuario, todos los años

Histograma: estaciones con mínimo 10 y menos de 30 años completos

Clase: porcentaje de meses incompletos	Frecuencia: número de estaciones
5-10	5
10-15	0
15-20	0
20-25	0
25-30	0
30-35	1
35-40	0
40-45	1
45-50	0
50-55	0
55-60	0
60-65	0
65-70	0
70-75	0
75-80	0
80-85	0
85-90	0
90-95	0
95-100	0

Histograma: estaciones con mínimo 10 y menos de 30 años completos

Clase: porcentaje de meses incompletos	Frecuencia: número de estaciones
0	11
5	5
10	0
15	0
20	0
25	0
30	1
35	0
40	1
45	0
50	0
55	0
60	0
65	0
70	0
75	0
80	0
85	0
90	0
95	0
100	0

Ingeniería Civil 164/2011

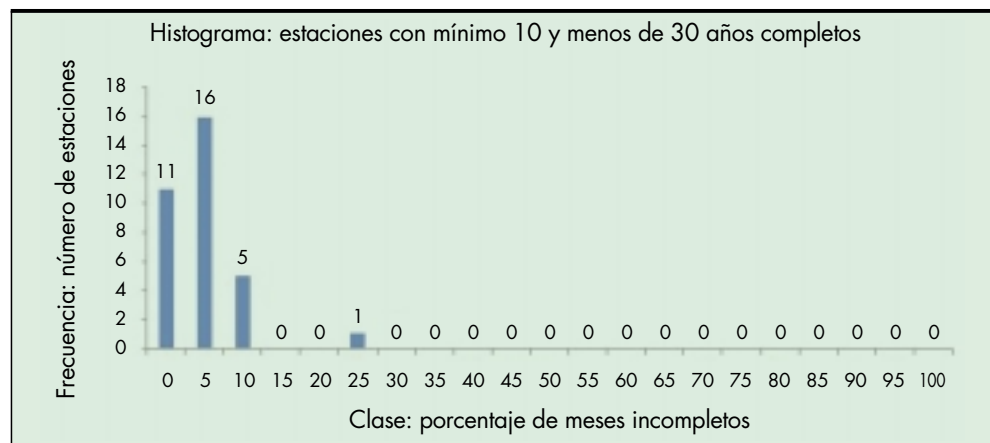


FIGURA 13. Histograma del estudio previo de las estaciones y datos del Duero.

La tabla filtrada final posee: **11.257.034** registros, de los que **3.652** eran huecos, apenas un 0.032 % de los datos, pero supone la incorporación de **813** nuevos años a las series de datos.

b. Datos finales mensuales

Se ha creado una base de datos compuesta por diferentes tablas. Por un lado los datos originales de las aportaciones que proporciona el anuario. Estos datos son empleados tanto para estaciones de aforo, como para datos de embalse. Por otro lado, la base de datos contiene los resultados de los diferentes procedimientos de completado de

datos; constituida por cuatro tablas, dos tablas (para el umbral de priorización 0,7 y 0,8) que poseen la información de los datos completados sin agrupar los conglomerados 10 y 5 en CHAC y otro par de tablas (para umbral de priorización 0,7 y 0,8) que posee la información de los datos completados agrupando los conglomerados 10 y 5.

Los resultados de la agrupación por conglomerados pueden verse en las Tablas 3 y 4. Mediante un análisis de K Medias con la herramienta SPSS se han propuestos 20 grupos, según las variables, CV, coeficiente de sesgo y media. El procesado se ha realizado con SPSS. A partir de cada uno de los conglomerados con mayor

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
m	3024	10393	6410	1674	671	4199	1129	3459	6010	54	8975	12578	4575	333	2172	11490	2586	5321	3748	8611
cv	0.647	0.420	0.402	0.486	0.413	0.223	0.438	0.364	0.498	0.719	0.288	0.325	0.659	0.469	0.404	0.395	0.628	0.561	0.551	0.427
cs	0.918	0.801	0.817	1,060	0.765	0.381	0.693	0.709	0.492	1,091	-1,242	-0.198	1,420	0.743	0.426	0.416	0.873	0.743	0.765	0.785

TABLA 3. Centro de los conglomerados fijados.

	Casos			Casos	
Conglomerado	1	6	Conglomerado	11	1
	2	1		12	1
	3	1		13	1
	4	19		14	163
	5	57		15	8
	6	1		16	2
	7	32		17	4
	8	2		18	2
	9	1		19	3
	10	511		20	1

TABLA 4. Número de casos por conglomerado de estaciones de datos mensuales.

Distancias entre los centros de los conglomerados finales					
Conglomerado	4	5	7	10	14
4		1.002,325	544,580	1.619,935	1.340,872
5	1.002,325		457,745	617,611	338,548
7	544,580	457,745		1.075,356	796,293
10	1.619,935	617,611	1.075,356		279,063
14	1.340,872	338,548	796,293	279,063	

TABLA 5. Conglomerados empleados en el rellenado con CHAC.

Conglomerado	Coeficiente	Años ganados al completar
4	0.8	No se completan
	0.7	No se completan
5	0.8	105
	0.7	264
7	0.8	9
	0.7	37
10	0.8	12
	0.7	197
14	0.8	16
	0.7	256
Totales	0.8	142
	0.7	854

TABLA 6. Resultados de años completados en datos mensuales.

Conglomerado	Coeficiente	Años ganados al completar
4	0.8	No se completan
	0.7	No se completan
5	0.8	105
	0.7	264
7	0.8	9
	0.7	37
10	0.8	12+558 = 570
	0.7	197+999 = 1.196
14	0.8	16
	0.7	256
Totales	0.8	142 + 558 = 700
	0.7	854 + 999 = 1.853

TABLA 7. Resultados de años completados en datos mensuales de la agrupación de conglomerados 10 con los del conglomerado 5.

volumen de información (Tabla 5) se ha procedido a completar los valores perdidos con CHAC.

Los diferentes resultados pueden verse en las Tablas 6 y 7, donde para cada uno de los conglomerados y dependiendo del tipo de análisis de los grupos, se contabilizan los años ganados a la serie.

3.2. CARACTERIZACIÓN DE DATOS

A fin de poder tener una idea inicial de los datos con los que cuenta la estación de aforos dando valor añadido al

conjunto de datos incorporados a la aplicación, se ha programado una pequeña utilidad que permite caracterizar los datos de caudales y aportaciones, de modo que se puedan comparar para los mismos periodos de tiempo, tramos de las series del anuario y de las series completadas. De esta manera el usuario puede valorar rápidamente la conveniencia de usar una u otra en función de los objetivos de su estudio.

La Tabla 8 recoge los campos que han sido calculados para las series de datos diarios. El programa ge-

TABLA 8. Tabla de caracterización de las series de datos diarios.

Estación	Año	Nº de días sin dato	Nº grupos sin dato	Huecos aislados	2 huecos consecutivos	3 huecos consecutivos	n huecos consecutivos
1111	1935	33	0	20	2	3	—
1111	1936	12	12	12	0	0	—
1111	1937	12	1	0	0	4	—
...							

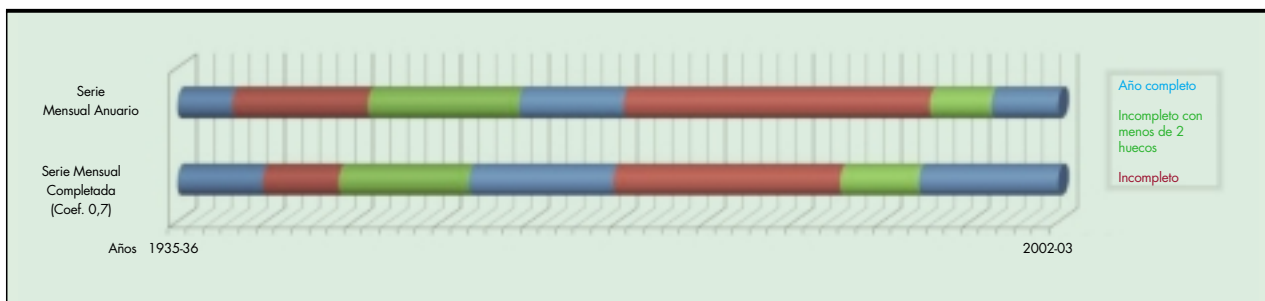


FIGURA 14. Representación comparativa de las series del anuario y completada por códigos de colores.

neró una nueva tabla recorriendo la serie y calculando tanto el número de huecos como su tamaño para cada año de cada estación, permitiendo así poder caracterizar la calidad del dato que posee cada año.

Estos valores numéricos han sido traducidos en códigos de colores dentro del visor (Figura 14) donde se comparan año a año la serie del anuario y la serie completada.

La leyenda de colores muestra los años completos representados en color azul, pasando por el verde, amarillo, naranja y rojo, según la cantidad de datos disponibles dentro del año estén totalmente completos (azul) o carezcan de la mayor parte de ellos (rojo). La leyenda completa se muestra en la aplicación.

3.3. FUNCIONALIDADES DEL VISOR

Las principales funcionalidades del visor-web (Figura 15), todas ellas ligadas al estudio de la alteración hidrológica, están divididas en los siguientes grupos:

- Localización de estaciones de aforo tanto de embalses como en ríos. La localización de la estación puede efectuarse mediante menús desplegables progresivos, partiendo de Demarcaciones Hidrográficas o Comunidades Autónomas; o bien directamente por el código de la estación de aforos. También cuenta con un visor SIG que ayuda en esta labor, ubicando la estación buscada.

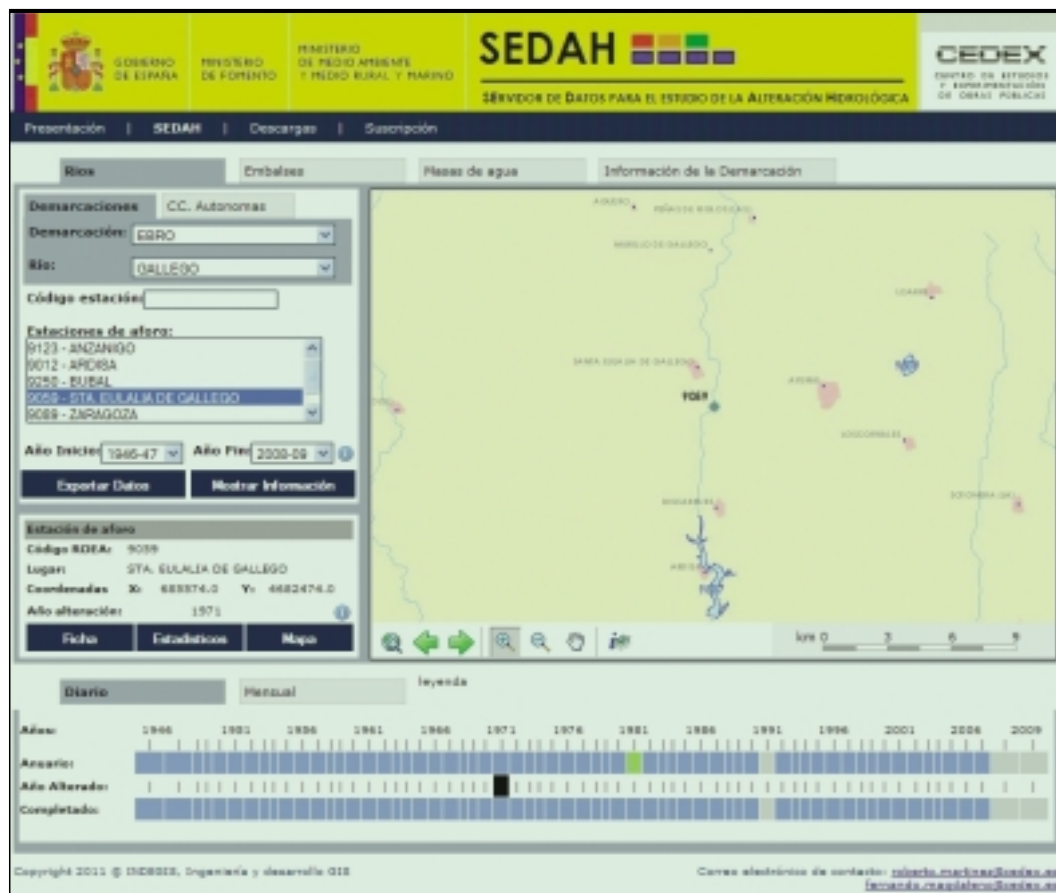


FIGURA 15. Pantalla principal de la aplicación SEDAH.

- Visor SIG. Este visor permite ubicar y obtener información de los principales elementos a tener en cuenta en los estudios de alteración hidrológica, como son: la ubicación de embalses, año de construcción de la presa, localización de estaciones de aforo y ubicación de los principales núcleos de población.
- Comparación de las series caracterizadas de los datos del anuario y completados, tanto para caudales diarios como mensuales. Los diferentes códigos de colores permiten identificar en qué años no se cuenta con datos, o en qué años se concentran la mayor parte de los huecos de una serie.
- Año de alteración. En esta primera fase se puede observar para algunas estaciones una estimación del año a partir del cual se puede considerar que la serie pasa de natural a alterado. Para ello se ha considerado el año de construcción del embalse más antiguo y mayor de 5 hm³ que está aguas arriba de la estación de aforo. Un estudio más detallado se desarrollará en fases posteriores.
- Se puede observar la información de la ficha del anuario de cada estación de aforo en formato “pdf”.
- Se puede consultar el resumen estadístico de los datos de las series de cada estación de aforo, tal como se muestra en el anuario de aforos.
- La aplicación permite seleccionar el rango de años que queremos estudiar y exportarlos en diferentes formatos. Las series que se pueden exportar tanto para datos diarios como mensuales, ya sean series del anuario o series completadas. Los formatos disponibles son:
 - Formato nativo de IAHRIS de extensión “csv”; se facilita la incorporación de los datos del punto de estudio correspondientes con el encabezado del fichero.
 - Formato IHA (Richter et al.).
 - Formato Excel, en el que el usuario puede editar los datos según sus necesidades particulares.

3.4. DISCUSIÓN

La aplicación creada soluciona, en esta primera fase, gran parte de las tareas previas al análisis de datos para el estudio de la alteración hidrológica, especialmente los relativos al estudio previo de las series disponibles, la posibilidad de usar series con datos completados y la exportación de datos a formatos nativos de los softwares de análisis.

Cada una de estas tareas se ha facilitado de manera sustancial gracias al visor de series anuales, al intenso trabajo de incorporación de series con datos completados, y los módulos de exportación.

En relación a las series completadas y el esfuerzo llevado a cabo para su producción, es interesante plantear la posibles líneas a seguir en futuras fases. Tras el trabajo realizado en este proyecto y teniendo en cuenta que la finalidad del uso de estos datos, se sugiere que los desarrollos futuros centren sus esfuerzos en el completado de datos diarios más que en los datos mensuales. El estudio de series mensuales, ha exigido mucho tiempo de estudio y preparación aun siendo datos que aportan mucha menos información en el análisis de la alteración hidrológica en comparación a los diarios.

En los futuros estudios, centrados en los datos diarios, convendría evaluar la posibilidad de tratar de filtrar bajo criterios menos restrictivos, proponiendo metodologías de completado para años a los que les falten más de 36 huecos o bien poseen huecos consecutivos mayores de 5 días. Para estos estudios habría que valorar la posible pérdida de eventos extremos ligándolo a las series existentes y a las características morfológicas de los tramos estudiados.

También habría que desarrollar estudios detallados para la determinación del año de comienzo de la serie alterada. Estos estudios considerarían las aportaciones y tamaños de cuenca en la estación de aforo y en cada uno de los embalses aguas arriba de la estación de aforo, además del volumen de embalse y año de construcción de la presa.

En futuras fases también se considera la incorporación de series en régimen natural modelizadas, como por ejemplo las provenientes de SIMPA (Estrela, T. y Quintas, L.A. 1996; y Ruiz García, J. M. 1998), proponiendo funciones de desagregación para generar series simuladas diarias naturales.

Las aplicaciones de SEDA H son diversas en el estudio del análisis de datos hidrológicos, especialmente en la alteración hidrológica del régimen de caudales y restauración fluvial. Estas funcionalidades van desde ser una pura herramienta generadora de ficheros de series para su posterior análisis con IAHRIS o IHA, hasta aplicaciones más directas como la comprobación de la disponibilidad de datos para un periodo concreto, selección de la estación de aforo de interés, caracterización de los datos de las estaciones de aforo, valoración preliminar del año de alteración de una serie, etc.

4. AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha desarrollado gracias al apoyo recibido desde la Dirección General Agua del Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino dentro de la ficha “Estudio metodológico sobre la definición y establecimiento de regímenes de caudales ecológicos”.

El estudio ha sido realizado con el apoyo de las Áreas de Ingeniería de Sistemas y de Recursos Hídricos del CEDEX, agradeciendo su colaboración en la explotación de los datos del anuario de aforos.

5. REFERENCIAS

- Estrela, T. y Quintas, L.A. 1996. Distributed hydrological model for water resources assessment in large basins. In Proceedings of RIVERTECH 96. 1st International Conference on New/Emerging Concepts for Rivers. Chicago. EE.UU. IWRA. Sep. 22-26, 1996.
- Martínez, C. y Fernández Yuste A., 2006. Índices de alteración hidrológica en ecosistemas. CEDEX -M85.
- Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. 2010. Anuario de aforos digital 2007-2008. ISSN: 1889-5263.
- Richter, BD; Baumgartner JV, Powell J, Braun DP. 1996. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. Conservation Biology 10: 1163–1174.
- Ruiz García, J. M. 1998. Desarrollo de un Modelo Hidrológico Distribuido de Simulación Continua Integrado con un Sistema de Información Geográfica. Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Valencia.